第 37 卷第 2 期
2017 年 1 月
生　态　学　报
ACTA ECOLOGICA SINICA
Vol.37,No.2
Jan.,2017

DOI: 10.5846/stxb201507291596
张晓霞,杨宗儒,查同刚,张志强,王高敏,朱聿申,吕志远.晋西黄土区退耕还林 22 年后林地土壤物理性质的变化.生态学报,2017,37(2):416-424.
Zhang X X,Yang Z R,Zha T G,Zhang Z Q,Wang G M,Zhu Y S,Lü Z Y.Changes in the physical properties of soil in forestlands after 22 years under the influence of the Conversion of Cropland into Farmland Project in Loess region, Western Shanxi Province.Acta Ecologica Sinica,2017,37(2):416-424.

晋西黄土区退耕还林 22 年后林地土壤物理性质的变化

张晓霞[1],杨宗儒[2],查同刚[1,*],张志强[1],王高敏[3],朱聿申[1],吕志远[3]
1 北京林业大学水土保持学院,水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室,北京　100083
2 山西省吉县林业服务中心,临汾　042200
3 北京林业大学林学院,北京　100083

摘要:退耕还林林地土壤物理性质的变化,是评价退耕还林措施及其生态效益的重要内容之一。选取晋西黄土区退耕 22 年后形成的 3 种典型乔木林分,包括自然恢复的辽东栎林、油松刺槐人工混交林和刺槐人工纯林,并以耕地作为对照,通过外业调查和采样分析,从深度和程度两方面研究了退耕还林对土壤容重、土壤总孔隙度和毛管孔隙度等物理性质的影响,结果表明:(1)就土壤容重而言,自然恢复林 80 cm 以上土层较耕地有显著变化($P<0.05$),平均降低了 28.78%,变化程度最大的在 10—20 cm 土层;人工林较耕地显著变化发生在 60 cm 以上土层,混交林和纯林分别降低了 10.58%和 8.34%,变化程度最大的土层为 20—40 cm;(2) 3 种退耕林地土壤总孔隙度在 80 cm 以上较耕地发生显著增加($P<0.05$),增加程度表现为自然恢复林(35.53%)>混交林(15.04%)>纯林(13.68%),20—40 cm 土层变化程度最大;(3)土壤毛管孔隙度自然恢复林、混交林和纯林分别达到耕地的 1.36,1.13 和 1.12 倍,自然恢复林和人工林显著变化土层分别为 80 cm 和 60 cm 以上,变化程度最大的均为 40—60 cm 处;(4)土壤有机质和粘粒含量对土壤理化性质影响显著。对于土壤容重、总孔隙度和毛管孔隙度的变化,有机质的增加可解释 31%以上,而粘粒含量的解释度则达到 44%—51%,均为极显著水平($P<0.01$)。自然恢复林对于土壤物理性质影响程度和影响土层深度都大于人工林。

关键词:晋西黄土区;退耕还林;土壤物理性质;土层深度;程度

Changes in the physical properties of soil in forestlands after 22 years under the influence of the Conversion of Cropland into Farmland Project in Loess region, Western Shanxi Province

ZHANG Xiaoxia[1], YANG Zongru[2], ZHA Tonggang[1,*], ZHANG Zhiqiang[1], WANG Gaomin[3], ZHU Yushen[1], LÜ Zhiyuan[3]
1 *Key Laboratory of Soil and Water Conservation & Desertification Combating of Ministry of Education, College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing* 100083, *China*
2 *Forestry Service Center of Jixian, Linfen* 042200, *China*
3 *College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing* 100083, *China*

Abstract: The physical properties of soil such as soil particle size distribution, bulk density, and porosity are interrelated and have important effects on soil fertility and hydrological processes. Such processes include surface runoff, infiltration, groundwater recharge, and water yield. Excessive soil erosion in the Loess Plateau has resulted in severe degradations of the

基金项目:国家“十二五”科技支撑计划课题(2015BAD07B03)
收稿日期:2015-07-29;　　**网络出版日期**:2016-06-13
*通讯作者 Corresponding author.E-mail: zhtg73@bjfu.edu.cn

physical properties of the soil, such as increased bulk density, reduced aggregate stability, and reduced water retention. Soil properties are likely to change when large vegetation restoration efforts, such as the Conversion of Cropland into Farmland Project (CCFC) in China, are implemented. These changes in soil properties can affect vegetation coverage, litter accumulation, root penetration, and soil biological activity. Three typical arbor forests, which were converted from farmland 22 years ago in western Shanxi Province, were selected to study the depth and extent under the influence of the CCFC on the physical properties of the soil. We examined soil density, soil total porosity, and capillary porosity using field sampling and laboratory analysis. These arbor forests included *Quercus wutaishanica*, a natural recovery forest (NR), *Pinus tabulaeformis*× *Robinia pseudoacacia*, an artificial mixed forest (MF), and *Robinia pseudoacacia*, an artificial pure forest (PF). Cultivated lands (CK) were chosen as the control. Results of the study revealed that: 1) compared to the cultivated lands, there were significant changes in soil bulk density above the 80 cm soil layer of the natural recovery forest ($P<0.05$). There was an average reduction in soil bulk density of 28.78% and the largest variability was found in the 10—20 cm soil layers. Compared to the control, soil density above the 60 cm layer of the artificial forests, MF and PF, was reduced by 10.58% and 8.34% respectively, and the differences in the 20—40 cm layers were the most significant, 2) the total soil porosity above the 80 cm soil layer in three kinds of farmland increased significantly compared to cultivated land ($P<0.05$). The ranking of total soil porosity from highest to lowest was: NR (35.53%) > MF (15.04%) > NR (13.68%), and the largest variability was found in the 20—40 cm layers, 3) the soil capillary porosity of NR, MF, and PF were respectively 1.36, 1.13, and 1.12 times those found in the cultivated land. The most obvious change of the natural recovery forest and artificial forest were found above the 80 cm and 60 cm layers respectively. The most drastic change was found in the 40—60 cm layers in both forests, and 4) the organic soil matter and clay content had significant effects on the physical and chemical properties of the soil. The increase of organic soil matter was as high as 31%, and interpretation of the clay content was between 44% and 51% of the change in soil bulk density, total porosity, and capillary porosity ($P<0.01$). The results of this study suggest that the influence natural recovery forests have upon the physical properties of soil is greater than that of the artificial forests. This is mainly due to thicker litter and humus, superior biological diversity, more frequent microbial activity, and further developed tree roots in the natural recovery forests.

Key Words: loess region of western Shanxi Province; the conversion of cropland into farmland project; soil physical properties; depth; extent

土壤物理性质主要包括土壤颗粒组成、土壤容重、孔隙状况与导水、贮水特征等密切相关的多项指标[1]。土壤物理性质在不同土层中的分布,不仅决定土壤水、肥、气、热等肥力状况[2-3],而且影响地表径流、降雨入渗、地下水补给和流域产水等流域水文过程[4-5],因此被认为是反映土壤结构和水文状况及评价土壤质量的重要指标[6]。作为能有效地控制水土流失和防治土壤退化的一种土地利用及调整方式,退耕还林引起地表物质迁移过程及影响因素的改变,必然导致土壤结构、水文状况、肥力等理化性质产生变化[7],因此研究不同土地利用方式对土壤物理性质的影响对于退耕还林生态水文效益评估和区域水土资源的合理利用具有重要意义[8]。

黄土区严重的土壤侵蚀导致土壤和养分的大量流失,土壤物理性质严重退化,具体表现为土壤容重的增加和土壤孔隙度、团聚体稳定性和持水能力的下降[9-10]。大量研究表明退耕还林后,受植被类型、盖度、枯枝落叶积累、根系穿插和土壤生物活动的综合影响,表层土壤物理性质如土壤容重和孔隙状况有所改善,水土流失得到有效控制[11-12]。但目前的研究主要集中于表层(0—20 cm)土壤物理性质的改变,少量涉及到表下层土壤也主要关注其变化是否达到显著水平,对退耕还林影响土壤物理性质的深度和程度的研究不够深入[13-15]。而土壤是一个具有垂直层次构造的复合结构体,土壤物理性质随退耕年限的变化在不同土层的分布是土壤肥力和土体持水特征的决定性因素[16-19]。因此本文以耕地为对照,选择晋西黄土区退耕还林 22a 的 3 种典型乔木林地(自然恢复的辽东栎林,油松刺槐人工混交林和刺槐人工纯林),从深度和程度两方面研究土壤容重、土壤总孔隙度和毛管总孔隙度的变化,旨在为黄土沟壑区植被恢复对小流域水文过程科学研究和水文生态效益评价提供科学依据。

1 研究区概况

研究区位于山西省临汾市吉县蔡家川小流域,地理坐标为 110°27′—111°07′E, 35°53′— 36°21′ N,海拔在 900—1510 m 之间。该地区属暖温带大陆性气候,年均气温 10℃,日照时间年均 2 563.8 h,无霜期 172 d。该区降水量年际变化较大,多年平均降水量 575.9 mm,其中雨季 6—9 月降水量达全年降水量的 70%左右。研究区属于典型黄土残塬沟壑区,普遍分布的土壤类型为褐土,黄土母质,土层深厚,土质均匀。山西吉县自 1992 年退耕还林还草以来,林草覆盖面积显著增加,水土流失逐渐缓解,生态环境明显改善[20]。退耕后形成的主要植被类型有自然恢复的辽东栎(*Quercus wutaishanica*)、山杨(*Populus davidiana*)等,人工的刺槐(*Robini pseudoacacia*)、油松(*Pinus tabuliformis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)等纯林以及油松×刺槐、刺槐×侧柏等混交林。林下植被包括连翘(*Forsythia suspensa*)、沙棘(*Hipophaer hamnoides*)、绣线菊(*Spiraea salicifolia*)、黄刺玫(*Rosa xanthina*)等。耕地主要为人工种植玉米,以传统的广种薄收耕作方式为主。

2 研究内容及方法

2.1 样地选取与土壤样品采集

2014 年 8 月中旬,采用野外调查与室内分析相结合的方法,根据典型性和代表性原则,在试验区即山西吉县蔡家川流域以玉米耕地作为对照组,选取坡向、坡度和海拔相近,1992 年均以玉米农耕地退耕的林地,包括自然恢复的辽东栎林(natural recovery *Quercus wutaishanicasis*, NR)及人工栽植的油松×刺槐混交林(*Pinus tabuliformis* ×*Robinia pseudoacacia* artificial mixed forest, MF)和刺槐纯林(*Robinia pseudoacacia* artificial pure forest, PF)各 3 处为研究样地(下文简称为自然恢复林、混交林和纯林),进行调查和每木检尺,其中海拔采用 GPS eTrex Vista 测定,坡度坡向采用地质罗盘 DQY-1 测定,胸径和树高分别采用胸径尺和勃鲁莱氏测高器测量,郁闭度采用郁闭度测定器法,样地基本情况见表 1。

表 1 样地基本情况

Table 1 Basic information of the research sites

序号 No.	植被类型 Vegetation type	海拔 Altitude/m	坡度 Slope/(°)	坡向 Aspect/(°)	胸(地)径 Breast(ground) diameter/cm	树高 Height/m	密度 Density/(棵/hm²)	郁闭度 Canopy density
1	NR1	1139	19	NW35	10.22(0.56)	6.56(0.17)	1950	0.82
2	NR2	1138	17	NW32	11.19(0.32)	6.28(0.25)	1900	0.84
3	NR3	1139	16	NW34	11.33(0.34)	6.72(0.16)	1931	0.82
4	MF1	1126	15	NW15	7.95(0.28)×8.81(0.31)	5.89(0.47)	1080×650	0.87
5	MF2	1124	17	NW15	8.03(0.25)×9.01(0.26)	5.30(0.37)	1100×600	0.89
6	MF3	1125	14	NW13	7.93(0.14)×9.20(0.21)	5.46(0.35)	1150×600	0.90
7	PF1	1196	15	NW39	12.17(0.23)	8.25(0.46)	1835	0.86
8	PF2	1193	17	NW41	13.71(0.33)	8.17(0.42)	1850	0.85
9	PF3	1195	18	NW42	11.37(0.45)	8.36(0.32)	1862	0.84
10	CK1	1153	14	NW22	3.70(0.47)	2.45(0.17)	73000	0.87
11	CK2	1154	13	NW20	4.01(0.38)	2.57(0.14)	73500	0.85
12	CK3	1156	14	NW24	3.98(0.35)	2.19(0.13)	73580	0.84

NR:自然恢复的辽东栎林 natural recovery *Quercus wutaishanicas*;MF:油松×刺槐人工混交林 *Pinus tabuliformis* ×*Robinia pseudoacacia* artificial mixed forest;PF:刺槐人工纯林 *Robinia pseudoacacia* artificial pure forest;CK:耕地 cultivated lands;胸(地)径和树高数值为平均值(标准差);胸径对象为林地的乔木,地径对象为玉米耕地;玉米的郁闭度指其的冠层覆盖度

土壤调查采用剖面法,在每个样地内随机选取 3 个样点进行典型土壤剖面调查,分别按 0—10 cm、10—

20 cm、20—40 cm、40—60 cm、60—80 cm 和 80—100 cm 分层采集分析样品,同时每层采集 3 个环刀样品供测定土壤容重,共从 4 种植被类型中取得 216 个分析土样和 648 个环刀样用于实验分析。

2.2　实验数据测定

采用环刀法测定土壤容重、土壤总孔隙度和毛管孔隙度,重铬酸钾氧化—外加热法测定土壤有机质含量,吸管法测定土壤粘粒含量[21]。

2.3　数据处理

用 Excel 2010 软件进行数据整理,通过 SPSS 18.0 软件的单因素方差分析(ANOVA)检验不同植被类型各特征指标对土壤物理性质的差异显著性,用 Duncan 法进行多重比较(P<0.05),采用 origin 9.0 作图。

3　结果和分析

3.1　植被类型对土壤容重的影响

退耕使林地土壤容重的垂直分布较耕地发生了显著变化,耕地土壤由于人为耕作活动及犁底层的存在,土壤容重在 20—60 cm 最大,整体呈现出先增加后降低的趋势;而退耕 22 年后林地土壤容重均表现出随土层深度增加逐渐增大的趋势(表 2)。

表 2　植被类型对不同土层土壤容重的影响(平均值±标准差)

Table 2　The influence of vegetation type on soil bulk density among different soil layers(mean±SD)

土层深度 Soil depth/cm	容重 Bulk density /(g/cm³)			
	NR	MF	PF	CK
0—10	0.78 ±0.02 c	1.13 ±0.03 b	1.17 ±0.02 b	1.23 ±0.02 a
10—20	0.79 ±0.02 c	1.18 ±0.04 b	1.20 ±0.03 b	1.35 ±0.01a
20—40	0.87 ±0.01 d	1.19 ±0.02 c	1.23 ±0.04 b	1.45 ±0.05 a
40—60	0.93 ±0.02 c	1.23 ±0.03 b	1.25 ±0.04 b	1.47 ±0.04 a
60—80	1.15 ±0.01 b	1.24 ±0.02 a	1.28 ±0.04 a	1.30 ±0.02 a
80—100	1.24 ±0.01 a	1.27 ±0.01 a	1.30 ±0.03a	1.33 ±0.02 a

同一土层内不同小写字母表示不同植被类型土壤物理性质差异显著(P<0.05)

退耕林地 0—60 cm 土层的土壤容重均显著低于耕地(表 2),但不同林地在各土层的变化程度有所差别(图 1)。在土层 0—10 cm 和 10—20 cm 和 40—60 cm 处,自然恢复林土壤容重显著低于人工混交林和纯林,人工林间差异不显著。相对于耕地,自然恢复林、混交林和纯林 0—10 cm 处土壤容重分别下降了 35.93%、7.46%和 4.63%;在 10—20 cm 处分别下降了 41.40%、12.03%、10.95%;在 20—40 cm 各林分和对照相互间差异显著,表现为 NR<MF<PF<CK,在 40—60 cm 处分别下降了 36.36%、16.36%和 15.20%。在 60—80 cm,自然恢复林土壤容重显著低于对照,人工林土壤容重低于对照但差异不显著,自然恢复林、混交林与纯林对土壤容重的影响程度分别为 11.73%、4.60%和 1.95%。在 80—100 cm,林地土壤容重较耕地没有显著差异,3 种林分对土壤容重的影响程度只有 5%左右。从变化程度来看,自然恢复林在 20 cm 处容重变化率最大,为41.40%,随后逐渐减小,60 cm 之后下降程度达 50%以上,容重

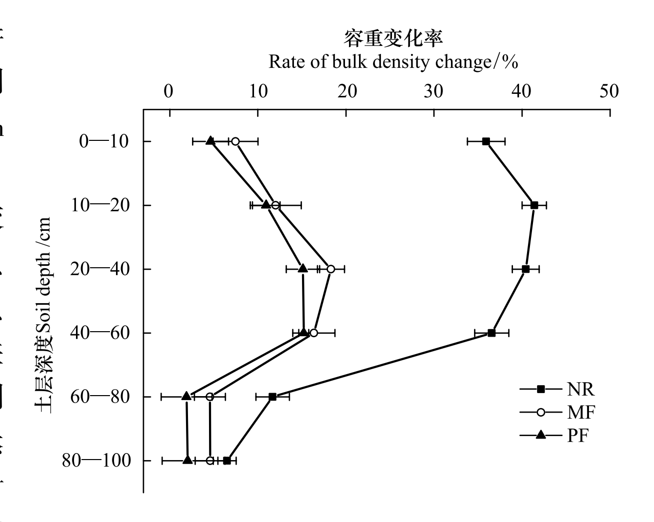


图 1　植被类型对土壤容重的影响程度

Fig.1　The influence extent of vegetation type on soil bulk density

NR:自然恢复的辽东栎林 natural recovery *Quercus wutaishanica*; MF:油松×刺槐人工混交林 *Pinus tabuliformis* ×*Robinia pseudoacacia* artificial mixed forest; PF: 刺槐人工纯林 *Robinia pseudoacacia* artificial pure forest;变化率为相对于耕地(CK)增加或减少的百分比

变化率最小值为 6.39%。混交林的变化率呈现先增加后减少的趋势,由表层的 7.46%上升至 40 cm 处的 18.30%,60 cm 处为 16.35%,80 cm 和 100 cm 处均迅速下降到 4%左右,相比于 60 cm 的变化率低 75%。纯林变化率在 0—60 cm 逐渐增大,最大值为 15.20%,60 cm 之后急速下降,只比耕地减少了 2%左右。总体上,自然恢复林对 0—80 cm 的土层均影响显著,平均变化程度为 28.78%。混交林和纯林对土层影响深度均达到 60 cm,平均变化程度分别为 10.58%和 8.34%。

3.2 孔隙度状况

3.2.1 植被类型对土壤总孔隙度的影响

退耕使林地土壤总孔隙度的垂直分布较耕地发生了显著变化,土壤总孔隙度随着土层的加深呈现下降的趋势。植被类型对土壤总孔隙度的影响程度表现为自然恢复林最大,混交林略大于纯林,耕地最小。0—10 cm 处,自然恢复林与混交林、纯林的总孔隙度均显著高于耕地,人工林之间无显著差异,但均与自然恢复林差异显著。对土壤总孔隙度的影响程度表现为 NR(36.69%)>MF (8.82%)> PF (7.10%)。10—20 cm 的土层,3 种林分之间彼此差异显著,且明显高于对照,其影响程度均达到 10%以上。在土层 20—40 cm、40—60 cm 和 60—80 cm 处,差异显著性分析结果与 0—10 cm 处一致。在 20—40 cm 处,3 种植被类型对土壤总孔隙度的影响程度范围为 23.35%—51.63%。40—60 cm 的土层深度,NR、MF 与 PF 的影响程度均超过 25%,且自然恢复林使土壤总孔隙度增加了 51.63%,是所有变化程度中的最大值。而在 60—80 cm 处,影响程度明显降低,分别为 21.11%、8.42%和 10.56%。在 80—100 cm 处 3 种林分与对照均无显著性差异,其中自然恢复林的影响程度达到 14.48%,而混交林与纯林分别增加了 5.31%和 3.70%。从变化程度来看,自然恢复林在 0—60 cm 对土壤总孔隙度的影响随土层加深而增加,范围为 36.69%—51.63%,60—80 cm 变化程度显著下降至 21.11%,100 cm 处变化率为 14.48%。混交林 0—40 cm,变化率由 8.81%增长到 27.12%,60 cm 处为 25.46%,随后下降至 100 cm 处的 5.35%。人工林和自然恢复林均在 0—60 cm 呈现上升趋势,最低为 7.15%,最高为 25.30%,随后下降,变化率在 80 和 100 cm 处分别为 10.56%和 3.70%。总体上,退耕林地均影响到土层的 80 cm 处,自然恢复林、混交林和纯林平均土壤总孔隙度分别比耕地增加了 35.53%、15.04%和 13.68%。

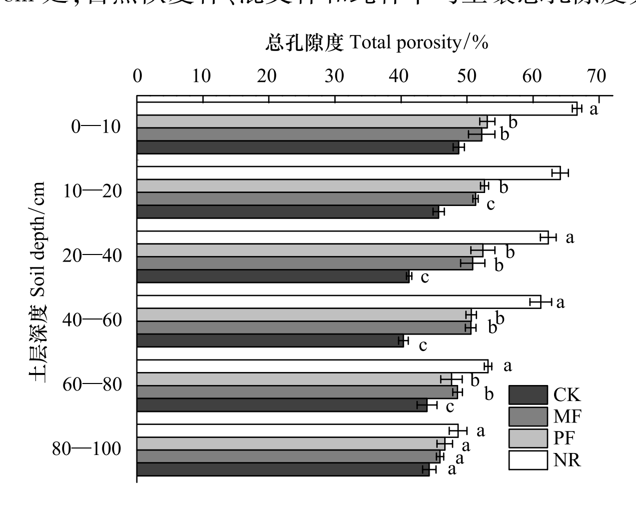


图 2 不同植被土壤总孔隙度的差异显著性

Fig. 2 The significance of variation of soil total porosity in different vegetation

CK:耕地 cultivated lands

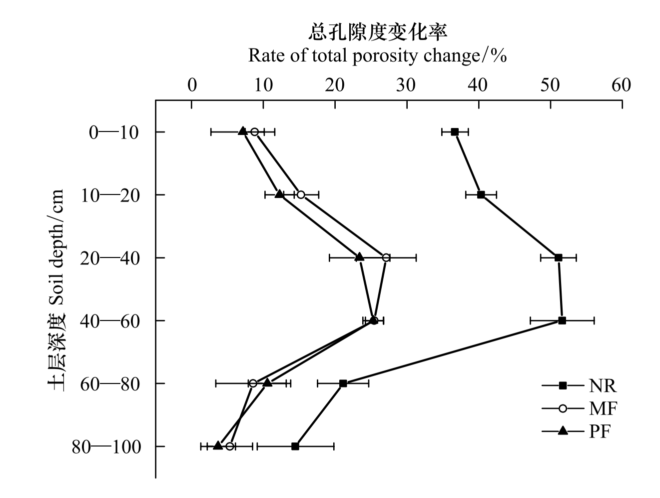


图 3 植被类型对总孔隙度的影响程度

Fig.3 The influence extent of vegetation types on soil total porosity

3.2.2 植被类型对土壤毛管孔隙度的影响

退耕后不同植被类型的土壤毛管孔隙度随着土层的加深均显著增加。和对照相比,自然恢复林对土壤毛管孔隙度的影响大于人工林。毛管孔隙度在 0—60 cm 各土层,退耕林地均和对照显著差异,人工林之间差异不显著,但二者均与自然恢复林差异显著;60—80 cm,只有自然恢复林和其余三者差异显著;80—100 cm,各

林地均与对照无显著差异。3 种植被类型对土壤毛管孔隙度的影响在 0—10 cm 和 10—20 cm 的土层,均达到 10%以上(图 5),在 20—60 cm 达到 20%,最大为 57.12%。而在 60—80 cm 的土层,其影响程度明显减少,表现为 NR(16.21%)>MF(2.65%)>PF(6.69%)。在 80—100 cm 处,自然恢复林仅使土壤毛管孔隙度增加了 2.59%,混交林和纯林反而分别减少了 5.50%和 4.76%。就变化程度而言,退耕林地对土壤毛管孔隙度的影响在 10—20 cm 处略有下降,随后增大直到 60 cm 处达到最大值,随后则呈现减小的趋势。其中自然恢复林的变化范围为 2.59%—57.12%,混交林的最大值是 40 cm 处的 23.22%,最小值为 80 cm 处的 2.65%。人工林 60 cm 处变化率最大(27.41%),增加程度最小为 6.80%。总体上,自然恢复林对土壤影响较深,达 80 cm,人工林则影响到 60 cm 的土层。NR、MF 和 PF 的平均土壤毛管孔隙度分别是 CK 的 1.36 倍、1.13 倍和 1.12 倍。

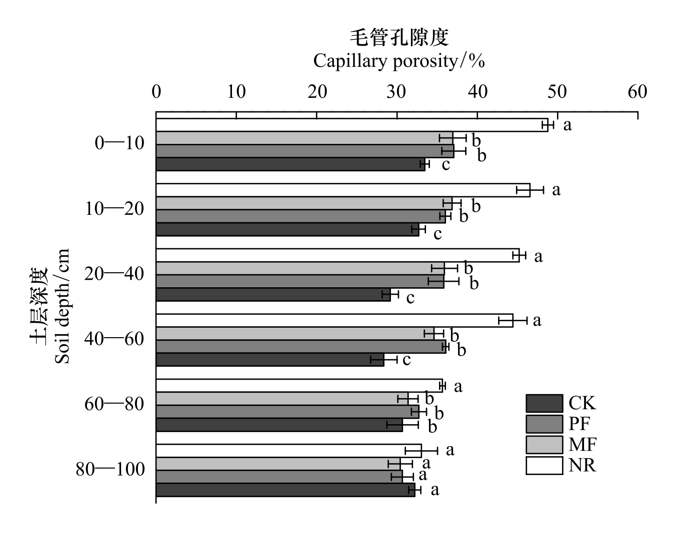


图 4　不同植被毛管孔隙度的差异显著性

Fig.4　The significance of variation of soil capillary porosity in different vegetation

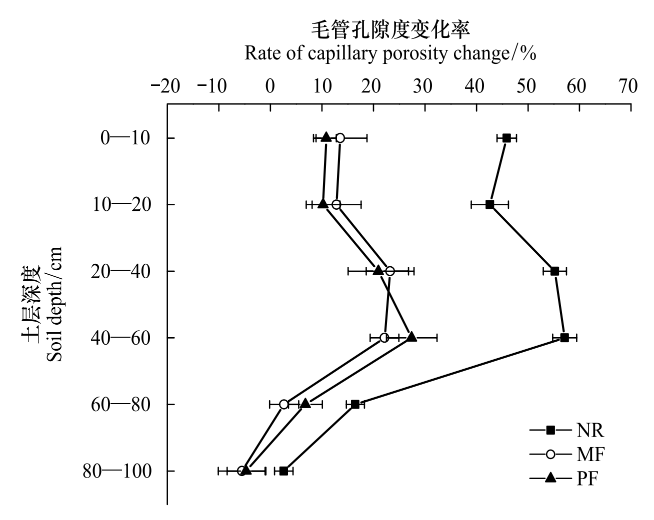


图 5　植被类型对毛管孔隙度的影响程度

Fig.5　The influence extent of vegetation types on soil capillary porosity

4　讨论

由于枯落物的输入、林木根系活动、土壤水热状况、微生物活动及人为干扰的减少,退耕还林可有效改善林地土壤的土壤容重、孔隙状况和持水能力等物理性质[13,22-24]。本文研究表明退耕 22 年后,自然恢复林和人工林对土壤物理性质影响深度分别达到 80 cm 和 60 cm,对土壤容重、总孔隙度和毛管孔隙度的影响程度对应分别为 28.78%、35.53%、36.00%和 9.46%、12.50%、14.36%。土壤有机质和土壤粘粒的增加以及土壤结构的改善被认为是退耕还林改善黄土区土壤物理性质的主要原因[25-27]。曹国栋对玛纳斯河流域扇缘带上 4 种植被类型下的土壤性质相关性分析也表明,有机质含量是引起其他土壤物理性质变化的重要原因[28]。土壤中的粘粒以其颗粒细、表面积大及某些矿物的结构特征决定了它在土壤结构中的重要作用[29]。本文对 216 个分析土样的有机质和粘粒含量分别与以上 3 种物理性质进行了线性拟合,结果表明,土壤有机质的增加对土壤容重减小、总孔隙度和毛管孔隙度的增加解释程度均达到 31%以上,粘粒含量的增加可解释土壤容重、总孔隙度和毛管孔隙度变化的 44%—51%,且相关性均达到极显著水平(图 6,P<0.01)。原因可能是植被根系和凋落物使土壤中的有机质和粘粒含量增加,改善了土壤胶体状况从而使土壤颗粒胶结,形成了较大的团聚体和结构稳定、比例适合的水稳定性团聚体[30-31]。相关性分析表明土壤有机质含量和粘粒含量的变化是黄土区退耕林地土壤物理性质变化的重要原因[32-33],同时也说明土壤物理性质变化机制的复杂性[34-35]。

本文研究结果表明,退耕 22 年后,自然恢复林对土壤物理性质影响深度达到 80 cm,人工林影响深度为 60 cm;在影响程度上,不同林分间也明显不同,自然恢复林影响程度达到 28%—36%,而人工林影响程度为 9%—15%。邢菊香的研究表明内蒙古清水河县退耕还林 15 年后,表层土壤物理性质明显改善,0—20 cm 的

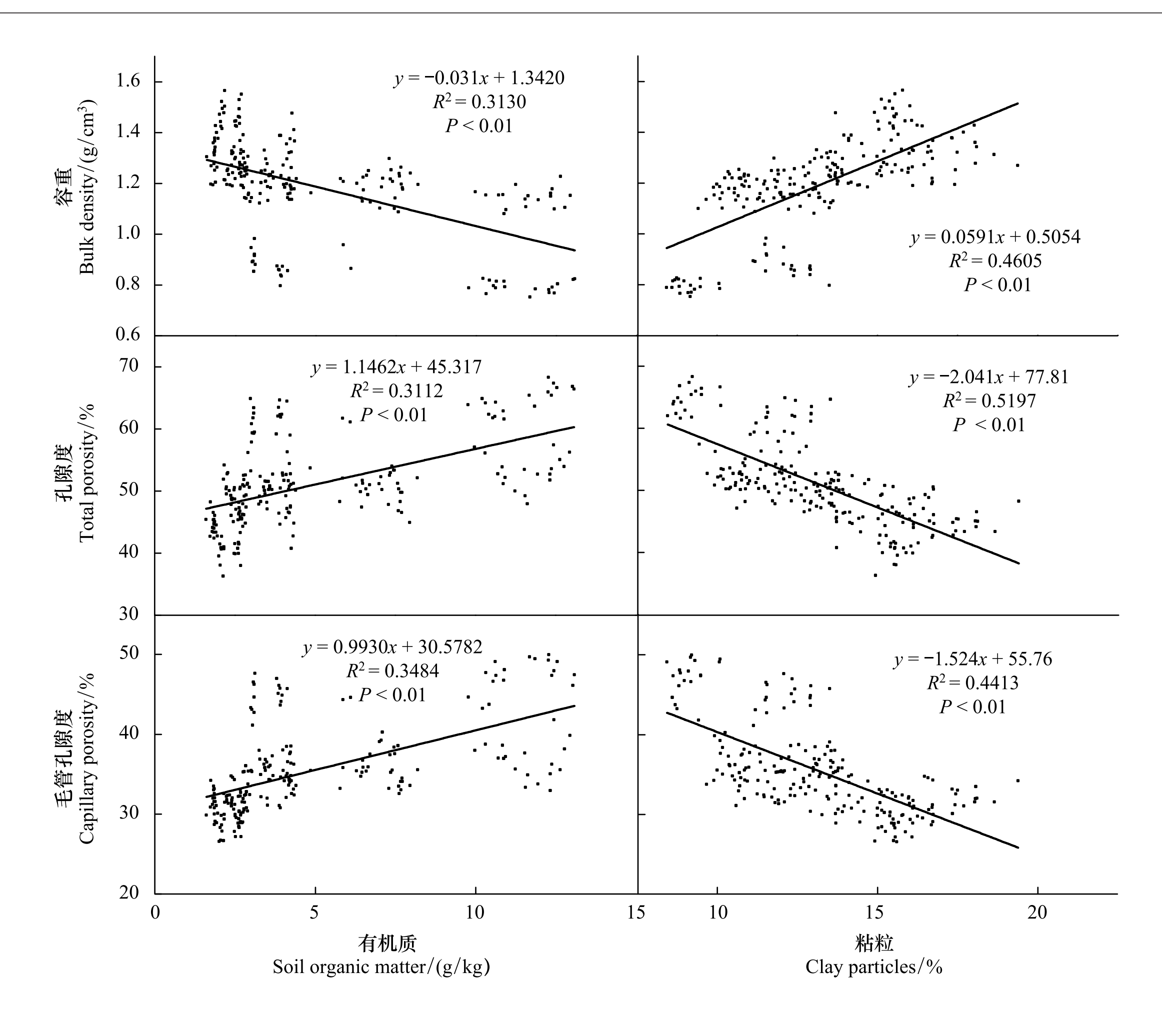


图 6　土壤有机质和粘粒与物理性质的相关性分析

Fig.6　The correlation analysis on soil organic matter and physical properties, clay particles and physical properties

土壤容重明显低于 20—40 cm 和 40—60 cm,与耕地相比,容重减少的范围是 7%—14%,总孔隙度增加了 25%—40%[18];彭文英等通过比较陕西安塞县黄土区退耕不同年限表层土壤物理性质的变化,发现退耕 13 年后的刺槐林,土壤物理性质改善程度明显,容重比耕地减少了 13%,孔隙度约增加了 8%,而植被恢复 30 年后,土壤物理性质变化不明显, 呈现稳定状态[19]。可见随着退耕年限的增加,土壤物理性质得到了明显改善,但是变化程度并没有一致的规律性,这可能是由于各研究区内有机质和粘粒的输入机制复杂而产生的差异。总体上自然恢复林对土壤物理性质影响程度和深度都大于人工林,主要是由于自然恢复林枯落物及腐殖质较厚,生物多样性较好,微生物活动频繁,且树木根系较发达等[36]。

5　结论

晋西黄土区退耕 22 年后,林地土壤容重、土壤总孔隙度和毛管孔隙度等物理性质较耕地均发生了显著的变化,具体为:

(1)自然恢复林和人工林对土壤容重产生显著变化的土层深度分别为 0—80 cm 和 0—60 cm(P<0.05),其中自然恢复林土壤容重平均降低了 28.78%,混交林和纯林土壤容重平均分别减低了 10.58%和 8.34%,变化程度最大的土壤层次分别为 10—20 cm 处和 20—40cm 处。

(2)3 种退耕林地土壤总孔隙度产生显著变化的土层深度均为 0—80cm(P<0.05),变化程度总体表现为自然恢复林(35.53%)>混交林(15.04%)>纯林(13.68%),变化程度最大的土壤层次均为 20—40 cm 处。

(3)自然恢复林内土壤毛管孔隙度产生显著变化的土层深度达到 80 cm,人工林则达到 60 cm(P<0.05),

自然恢复林、混交林和纯林分别是耕地土壤毛管孔隙度的 1.36,1.13 和 1.12 倍,变化程度最大的土壤层次均在 40—60 cm 处。

(4)土壤有机质的增加对土壤容重减小、总孔隙度和毛管孔隙度的增加解释程度均达到 31%以上,粘粒含量的增加可解释土壤容重、总孔隙度和毛管孔隙度变化的 44%—51%,且相关性均达到极显著水平($P<0.01$)。自然恢复林对土壤物理性质影响程度和深度总体上都大于人工林。

参考文献(References):

[1] 马雪华. 森林水文学. 北京: 中国林业出版社, 1993.

[2] Wang Y Q, Shao M A. Spatial variability of soil physical properties in a region of the Loess Plateau of PR China subject to wind and water erosion. Land Degradation and Development, 2013, 24(3): 296-304.

[3] 邱莉萍, 张兴昌. 子午岭不同土地利用方式对土壤性质的影响. 自然资源学报, 2006, 21(6): 965-972.

[4] 杨磊, 卫伟, 莫保儒, 陈利顶. 半干旱黄土丘陵区不同人工植被恢复土壤水分的相对亏缺. 生态学报, 2011, 31(11): 3060-3068.

[5] 王高敏, 杨宗儒, 查同刚, 张志强, 吕志远, 张晓霞, 王红艳, 朱嘉磊. 晋西黄土区退耕还林 20 年后典型林地的持水能力. 北京林业大学学报, 2015, 37(5): 88-95.

[6] Gairola S U, Soni P. Role of soil physical properties in ecological succession of restored mine land -A case study. International Journal of Environmental Sciences, 2010, 1(4): 475-480.

[7] Wang L, Mu Y, Zhang Q F, Jia Z K. Effects of vegetation restoration on soil physical properties in the wind-water erosion region of the northern Loess Plateau of China. Clean-Soil, Air, Water, 2012, 40(1): 7-15.

[8] 李裕元, 邵明安, 陈洪松, 霍竹, 郑继勇. 水蚀风蚀交错带植被恢复对土壤物理性质的影响. 生态学报, 2010, 30(16): 4306-4316.

[9] 安韶山, 黄懿梅, 李壁成, 杨建国. 黄土丘陵区植被恢复中土壤团聚体演变及其与土壤性质的关系. 土壤通报, 2006, 37(1): 45-50.

[10] 郑芳, 张建军. 晋西黄土区不同植被覆盖流域的水文响应. 生态学报, 2010, 30(20): 5475-5484.

[11] 李东海, 杨小波, 邓运武, 李跃烈. 桉树人工林林下植被、地面覆盖物与土壤物理性质的关系. 生态学杂志, 2006, 25(6): 607-611.

[12] Peng S L, Chen A Q, Fang H D, Wu J L, Liu G C. Effects of vegetation restoration types on soil quality in Yuanmou dry-hot valley, China. Soil Science and Plant Nutrition, 2013, 59(3): 347-360.

[13] 李志, 刘文兆, 王秋贤. 黄土塬区不同地形部位和土地利用方式对土壤物理性质的影响. 应用生态学报, 2008, 19(6): 1303-1308.

[14] 张希彪, 上官周平. 人为干扰对黄土高原子午岭油松人工林土壤物理性质的影响. 生态学报, 2006, 26(11): 3685-3695.

[15] 包志刚. 大青山不同植被类型下土壤物理特性和水分动态研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010.

[16] 李庆云, 余新晓, 信忠保, 刘淑燕, 李海光, 韩洁春. 黄土高原典型流域不同土地利用类型土壤物理性质分析. 水土保持研究, 2010, 17(6): 106-114.

[17] 唐国勇, 高成杰, 李昆. 植被恢复对干热河谷退化土壤改良的影响. 生态学报, 2015,35(15): 5157-5167.

[18] 邢菊香, 郭建英, 赵杏花, 蓝登明. 黄土丘陵区退耕还林后土壤物理性质恢复特征的研究——以陕西省吴起县为例. 内蒙古农业大学学报, 2010, 31(1): 41-46.

[19] 彭文英, 张科利, 陈瑶, 杨勤科. 黄土坡耕地退耕还林后土壤性质变化研究. 自然资源学报, 2005, 20(2): 272-278.

[20] 梁伟, 白翠霞, 孙保平, 郝登耀, 齐举一. 黄土丘陵沟壑区退耕还林(草)区土壤水分-物理性质研究. 中国水土保持, 2006, (3): 17-18.

[21] 林业部科技司. 森林生态系统定位研究方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1994.

[22] 高强伟, 罗承德, 代斌, 刘丽, 马丹. "蜀南竹海"毛竹林土壤理性质及其影响因子. 林业科技开发, 2014, 23(8): 52-55.

[23] 罗汝英. 土壤学. 北京: 中国林业出版社, 1992: 65-99.

[24] Pérez-Bejarano A, Mataix-Solera J, Zornoza R Guerrero C,, Arcenegui V, Mataix-Beneyto S, Amat-Amat S. Influence of plant species on physical, chemical and biological soil properties in a Mediterranean forest soil. European Journal of Forest Research, 2010, 129(1): 15-24.

[25] Li X G, Li F M Li, Zed R, Zhan Z Y, Bhupinderpal-Singhc. Soil physical properties and their relations to organic carbon pools as affected by land use in an alpine pastureland. Geoderma, 2007, 139(1/2): 98-105.

[26] Zhao H L, Guo Y R, Zhou R L, Drake S. The effects of plantation development on biological soil crust and topsoil properties in a desert in northern China. Geoderma, 2011, 160(3/4): 367-372.

[27] Bowman R A, Vigil M F, Nielsen D C, Anderson R L. Soil organic matter changes in intensively cropped dryland systems. Soil Science Society of America Journal, 1999, 63(1): 186-191.

[28] 曹国栋, 陈接华, 夏军, 朱宏伟, 蒋永超, 张霞, 王绍明. 玛纳斯河流域扇缘带不同植被类型下土壤物理性质. 生态学报, 2013, 33(1): 195-204.

[29] Dixon J B, 朱永宫. 土壤中粘粒的作用. 土壤学进展, 1992, 20(3): 33-35.

[30] Albiach R, Canet R, Pomares F, Ingelmob F. Organic matter components and aggregate stability after the application of different amendments to a horticultural soil. Bioresource Technology, 2001, 76(2): 125-129.

[31] Whalley W R, Dumitru E, Dexter A R. Biological effects of soil compaction. Soil and Tillage Research, 1995, 35(1/2): 53-68.

[32] 刘鑫, 毕华兴, 李笑吟, 李俊, 郭孟霞, 林靓靓, 郭超颖. 晋西黄土区土壤水分时空异质性分析. 水土保持研究, 2006, 13(6): 51-54.

[33] Li Y Y, Shao M A. Change of soil physical properties under long-term natural vegetation restoration in the Loess Plateau of China. Journal of Arid Environments, 2006, 64(1): 77-96.

[34] 杜冠华, 李素艳, 郑景明, 王灵艳, 郑永魁. 洞庭湖湿地土壤有机质空间分布及其相关性研究. 现代农业科学, 2009, 16(2): 21-23.

[35] 刘淑娟, 张伟, 王克林, 陈洪松, 韦国富. 桂西北喀斯特峰丛洼地土壤物理性质的时空分异及成因. 应用生态学报, 2010, 21(9): 2249-2256.

[36] 李民义, 张建军, 王春香, 王丹丹. 晋西黄土区不同土地利用方式对土壤物理性质的影响. 水土保持学报, 2013, 27(3): 125-131.